

STUDI ANALISIS KUALITAS TRANSFORMATOR DAYA GARDU INDUK 150 KV SIANTAN

Priyo Utomo

Program Studi Teknik Elektro Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura
Email : priyoutomo42@gmail.com

Susut umur pada transformator dipengaruhi oleh suhu isolasi belitan transformator, suhu minyak transformator dan suhu sekitar. Dengan menghitung persentase pembebanan dan menentukan kenaikan temperatur untuk pembebanan transformator daya stabil dan tidak stabil menggunakan metode diagram thermal (IEC 354) dan memperhitungkan penuaan isolasi belitan transformator daya menggunakan hukum deterioration oleh *Arrhenius* serta menghitung laju thermal relatif, susut umur dan prakiraan sisa umur menggunakan formula *Montsinger* diperoleh hasil penelitian sebagai berikut.

Pada pembebanan stabil, semakin tinggi persentase pembebanan maka sisa umur akan semakin menurun yaitu untuk pembebanan 17,32 % sisa umur 291000 tahun ; untuk pembebanan 80 % sisa umur 321,9 tahun ; untuk pembebanan 90 % sisa umur 218 tahun ; untuk pembebanan 100 % sisa umur 144,63 tahun dan persentase pembebanan 110 % sisa umur 34,17 tahun.

Pada pembebanan tidak stabil, semakin tinggi persentase pembebanan maka sisa umur akan semakin menurun yaitu untuk pembebanan 17,32 % sisa umur 286,98 tahun ; untuk pembebanan 80 % sisa umur 20,08 tahun ; untuk pembebanan 90 % sisa umur 10,95 tahun ; untuk pembebanan 100 % sisa umur 5,43 tahun dan persentase pembebanan 110 % sisa umur 2,63 tahun.

Menurut Standart IEEE tahun 1999, rata-rata umur transformator daya normal adalah 20,55 tahun, jadi jika Trafo Daya 150 KV Siantan dioperasikan dengan persentase pembebanan 80 % (sisa umur 20,08 tahun). Trafo Daya 150 KV dioperasikan tahun 2013 (sudah beroperasi 6 tahun), maka umur Trafo Daya 150 KV Siantan diperkirakan 26,08 tahun (di atas rata-rata umur trafo daya normal) sehingga disimpulkan Trafo Daya 150 KV Siantan kualitasnya baik.

Kata Kunci : Transformator Daya, Beban Stabil, Beban Tidak Stabil, Susut Umur, Umur Pakai, Kualitas Transformator.

1. Pendahuluan

Dalam rangka pelaksanaan pembangunan infrastruktur ketenagalistrikan dibutuhkan tenaga listrik yang stabil, kontinu, rugi-rugi yang kecil, serta keandalan yang tinggi. Selain sebagai perusahaan yang bertujuan untuk memberikan pelayanan terbaik bagi konsumen, PT PLN (Persero) sebagai Badan Usaha Milik Negara (BUMN) merupakan sebuah perusahaan yang berorientasi profit sehingga keandalan pelayanan menjadi perhatian utama. Transformator Daya merupakan pusat dari sistem ketenagalistrikan sehingga perlu pemeliharaan agar terhindar kerusakan dan karena biaya investasinya yang mahal perlu perencanaan yang didasarkan pada informasi umur pakai transformator daya tersebut.

Faktor-faktor yang mempengaruhi kemampuan umur transformator daya diantaranya adalah pembebanan, suhu minyak transformator, suhu belitan transformator dan suhu sekitar (*ambient temperature*).

Berdasarkan latar belakang di atas maka penulis ingin melakukan penelitian skripsi dengan judul “Studi Analisis Kualitas Transformator Daya Gardu Induk 150 KV Siantan” dengan harapan mampu menganalisa umur pakai transformator daya akibat faktor suhu minyak, suhu belitan dan suhu sekitar (*ambient temperature*) transformator daya tersebut.

2. Dasar Teori

2.1. Transformator Daya

Transformator Daya adalah suatu peralatan tenaga listrik yang berfungsi untuk menaikkan tegangan listrik dari tegangan rendah ketegangan tinggi yang dengan sendirinya juga menaikkan daya listrik yang akan disalurkan.

Dalam operasi penyaluran tenaga listrik transformator merupakan pusat penyaluran sistem transmisi dan distribusi. Dalam kondisi ini diharapkan transformator dapat bekerja secara terus menerus. Mengingat kerja keras transformator yang hampir kontinu maka

pengoperasiannya perlu diperhatikan. Pembebanan transformator, suhu kumparan, suhu minyak traansformator dan suhu sekitar menjadi faktor yang harus diperhatikan dan diperhitungkan agar transformator bisa bekerja optimal dan mencegah susut umur dari transformator itu sendiri. Bagian-bagian utama dari transformator daya adalah :

1. Inti besi

Inti besi pada transformator berfungsi untuk mempermudah jalannya fluksi, yang ditimbulkan oleh arus listrik yang melalui kumparan dibuat dari lempengan besi tipis berisolasi untuk mengurangi panas yang ditimbulkan rugi-rugi inti besi (*eddy current losses*).

2. Kumparan Transformator

Kumparan transformator adalah beberapa lilitan kawat berisolasi yang membentuk suatu kumparan. Kumparan tersebut terdiri dari kumparan primer dan kumparan sekunder yang diisolasi baik terhadap inti besi maupun terhadap antar kumparan dengan isolasi padat seperti karton, pertinaks dan lain-lain. Bila salah satu kumparan tersebut diberikan tegangan, maka pada kumparan akan membangkitkan fluks pada inti serta menginduksi kumparan lainnya sehingga pada kumparan sisi lain akan timbul tegangan.

3. Tangki Pernapasan Transformator Daya

Tangki pernapasan (*reservoir tank*) berfungsi untuk menampung penguapan minyak apabila suhu minyak transformator tinggi. Setelah suhu minyak transformator normal minyak akan mengembun dan turun kembali dari tanki pernafasan ke tanki transformator. Di sekitar tanki pernafasan dipasang relai *Bucholz* yang akan mendeteksi gas yang dihasilkan akibat kerusakan minyak transformator . Untuk menjaga agar minyak tidak terkontaminasi dengan air, ujung masuk saluran udara melalui saluran pelepasan (*venting*) dilengkapi media penyerap uap air pada udara, sering disebut dengan silica gel dan minyak tidak keluar mencemari udara disekitarnya.

4. Minyak Transformator.

Minyak transformator memegang peranan penting dalam sistem isolasi transformator dan juga berfungsi sebagai pendingin untuk menghilangkan panas akibat rugi-rugi daya pada transformator. Minyak itu mempunyai fungsi ganda, yaitu pendinginan dan isolasi.

2.2. Sistem Pendingin Transformator Daya

Pendingin transformator daya dibutuhkan agar panas yang timbul pada inti besi dan kumparan dapat disalurkan keluar sehingga tidak merusak isolasi didalam transformator daya . Media yang digunakan pada sistem pendingin dapat berupa : udara / gas, minyak dan air. Dilihat dari sirkulasi minyak dalam transformator daya, metode pendinginan dibagi atas dua jenis, yaitu :

1.1. Minyak bersirkulasi sendiri (*natural oil*).

Dalam hal ini minyak digunakan sebagai media yang merendam inti transformator dan belitan trafo (*oil immersed*). Panas pada inti dan belitan transformator akan menaikkan temperatur minyak, dan akibatnya minyak akan bersirkulasi secara alami. Ketika minyak bersirkulasi, panas yang timbul pada inti dan belitan mengalir ke permukaan tangki transformator daya.

2.1. Minyak bersirkulasi paksa (*forced oil*).

Dalam hal ini, minyak didalam transformator bersirkulasi atas bantuan sebuah pompa. Dengan cara ini diperoleh sirkulasi minyak yang lebih baik dibandingkan dengan cara sirkulasi sendiri.

Berikut

adalah beberapa jenis pendingin yang sering digunakan pada transformator daya :

Tabel 1. Jenis Pendingin pada Transformator Daya

No	Jenis Sistem Pendingin	Media			
		Dalam Transformator		Diluar Transformator	
		Sirkulasi Alamiah	Sirkulasi Paksa	Sirkulasi Alamiah	Sirkulasi Paksa
1	AN	-	-	Udara	-
2	AF	-	-	-	Udara
3	ONAN	Minyak	-	Udara	-
4	ONAF	Minyak	-	-	Udara
5	OFAN	-	Minyak	Udara	-
6	OFAF	-	Minyak	-	Udara
7	OFWF	-	Minyak	-	Air
8	ONAN/ONAF	Kombinasi 3 dan 4			

9	ONAN/OFAN	Kombinasi 3 dan 5
10	ONAN/OFAP	Kombinasi 3 dan 6
11	ONAN/OFWF	Kombinasi 3 dan 7

3. Metode Penelitian

3.1. Menghitung Persentase Pembebanan

Pembebanan transformator daya dapat digolongkan menjadi dua (2) jenis yaitu :

- Pembebanan Stabil
- Pembebanan Tidak Stabil

Untuk menentukan rasio pembebanan transformator daya dapat digunakan persamaan di bawah ini:

$$K = \frac{S}{R}$$

Sedangkan Persentase Pembebanan (%) bisa diperoleh dari data Pembebanan Transformator Daya sebagai berikut :

$$\text{Persentase Pembebanan (\%)} = \frac{\text{Daya Terpakai (MW)}}{\text{Daya terpasang (MW)}}$$

Dimana Daya terpasang diperoleh dari Kapasitas Transformator Daya (MVA) x Faktor Daya (Cos Q).

3.2. Untuk Kondisi Beban Transformator Daya yang Stabil

- Kenaikan Temperature Top Oil

Kenaikan temperatur top oil pada nilai daya yang dikalikan ratio dari total kerugian eksponen x adalah :

$$\Delta\theta_b = \Delta\theta_{br} \left(\frac{1 + dk^2}{1 + d} \right)^x$$

- Kenaikan Temperatur Hot Spot

Kenaikan temperatur Hot Spot $\Delta\theta_{bc}$ untuk beban yang stabil dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\Delta\theta_c = \Delta\theta_b + (\Delta\theta_{cr} - \Delta\theta_{br})k^{2y}$$

3.3. Untuk Kondisi Beban Transformator Daya yang Tidak Stabil

- Kenaikan temperature Top Oil

Kenaikan temperatur Top Oil $\Delta\theta_{on}$ pada waktu t setelah pemberian beban adalah sangat mendekati kenaikan eksponensial berikut :

$$\Delta\theta_{on} = \Delta\theta_o (n - 1) + (\Delta\theta_{ob} - \Delta\theta_o (n - 1)) \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right)$$

- Kenaikan Temperatur Hot Spot
Kenaikan temperatur hot spot pada waktu tertentu dapat dihitung sebagai berikut :

$$\theta_c = \theta_a + \Delta\theta_{on} + \Delta\theta_{td}$$

3.4. Selisih temperatur antara hot spot dengan top oil

Untuk selisih temperatur antara hot spot dengan top oil dapat digunakan persamaan berikut :

$$\Delta\theta_{td} = (\Delta\theta_{cr} - \Delta\theta_{br})k^{2y}$$

3.5. Perhitungan Laju Penuaan Thermal Relatif

Dalam menentukan nilai relatif dari umur pemakaian sebuah transformator dapat menggunakan hubungan *Montsinger*. Hubungan *Montsinger* sekarang telah digunakan untuk memperoleh nilai relatif dari umur pemakaian pada temperatur θ_c , dibandingkan dengan nilai normal dari nilai normal dari umur pemakaian pada temperatur θ_{cr} .

$$V = \frac{\text{laju penuaan umur saat } \theta_c}{\text{laju penuaan umur saat } \theta_{cr}} = 2^{(\theta_c - \theta_{cr})/6}$$

3.6. Perhitungan Susut Umur Transformator Daya

Besarnya susut umur pada transformator daya karena pengaruh penurunan kekuatan isolasi belitan saja tanpa memperhitungkan pengaruh yang lain dapat dihitung sebagai berikut :

$$L = \frac{h}{3T} \{ V_0 + \sum 4 V_{odd} + \sum 2 V_{even} + V_n \}$$

3.7.

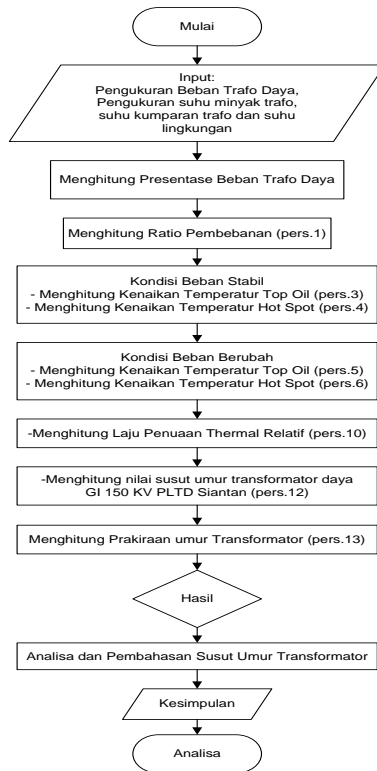
Perhitungan Prakiraan Sisa Umur Transformator Daya

Untuk menghitung prakiraan sisa umur transformator daya dapat dihitung dengan cara sebagai berikut :

$$n = \frac{\text{umur dasar (tahun)} - \text{lama transformator daya sudah dipakai (tahun)}}{\text{susut umur transformator (pu)}}$$

3.8. Diagram Alir Penelitian

Adapun diagram alir penelitian tugas akhir ini adalah :



Gambar 1. Diagram Alir Perhitungan Susut Umur Transformator Daya

4. Analisis dan Perhitungan

4.1. Data Pembebanan Transformator Daya

Transformator daya yang akan dianalisa adalah transformator daya yang terdapat di Gardu Induk 150 KV PT.PLN (Persero) PLTD Siantan. Pengukuran dilakukan pada transformator 1 dengan daya nominal sebesar 60 MVA dan pada pengukuran di bulan Agustus tahun 2018 ini beban transformator daya dalam keadaan tidak stabil.

4.2. Data Pembebanan Transformator Daya

Diperoleh data pembebanan transformator daya sebagai berikut :

Daya Nominal/Semu = 60 MVA
 Maka Daya Terpasang = Daya semu x Cos Q
 = 60 MVA x 0,94
 = 56,4 MV

Sedangkan daya terpakai rata-rata selama bulan agustus 2018 ini adalah 9,768, Sehingga diperoleh persentase pembebanan adalah :

Pesentase Pembebanan = Daya Terpakai / Daya Terpasang
 = 9,768 MW / 56,4 MW

= 17,32 %.

Sehingga Pembebanan Transformator daya dapat ditabelkan seperti pada tabel 2.di bawah ini :

Tabel 2. Data Pembebanan Transformator Daya

Daya Terpasang (MW)	Daya Terpakai (MW)	Presentase Pembebanan (%)
56,4	9,768	17,32

Pada transformator daya TRAFO 1 GI SIANTAN, menggunakan transformator dengan jenis pendingin yang digunakan yaitu tipe ONAN. Jenis pendingin dapat ditentukan dengan memenuhi satu keadaan atau lebih , yaitu :

1. Jika temperatur top oil kurang dari atau sama dengan 64°C maka jenis pendinginnya adalah ONAN.
2. Jika temperatur top oil lebih dari 64°C maka jenis pendinginnya adalah OFAF, bila temperaturnya masih diatas 50°C pendinginannya masih OFAF.
3. Jika kurang dari 50°C pendinginannya berubah menjadi ONAN.

4.3. Perhitungan Transformator Daya

4.3.1. Ratio Pembebanan

$$K = \frac{S}{Sr}$$

$$K = \frac{17,32\%}{100\%}$$

$$K = 0,1732$$

Maka, rasio yang didapat adalah sebesar 0,1732.

4.3.2. Kenaikan Temperatur Top Oil Beban Stabil

Untuk menentukan temperatur top oil beban stabil dapat diketahui :

Rugi-rugi tembaga = 138
 Rugi-rugi Beban nol = 22
 untuk d = $\frac{\text{Rugi} - \text{rugi Tembaga}}{\text{Rugi} - \text{rugi Beban Nol}}$
 $d = \frac{138}{22} = 6,27$

Kemudian,
 $\Delta\theta_{br}$ = Kenaikan suhu belitan. Untuk
 $\Delta\theta_{br} = 55^\circ\text{C}$ untuk ON, dan

$\Delta\theta_{br} = 40^\circ\text{C}$ untuk OFF (menurut Publikasi IEC 76 tahun 1967)

x adalah konstanta

x = 0,9 (untuk metode pendinginan ONAN ONAF)

x = 1.0 (untuk metode pendinginan OFAF dan OFWF)

$$\begin{aligned}\Delta\theta_b &= \Delta\theta_{br} \left(\frac{1 + dk^2}{1 + d} \right)^x \\ \Delta\theta_b &= 55 \left(\frac{1 + 6,27(0,1732)^2}{1 + 6,27} \right)^{0,9} \\ \Delta\theta_b &= 55 \left(\frac{1 + 6,27(0,03)}{1 + 6,27} \right)^{0,9} \\ \Delta\theta_b &= 55 \left(\frac{1,1881}{7,27} \right)^{0,9} \\ \Delta\theta_b &= 55 \cdot (0,1634)^{0,9} \\ \Delta\theta_b &= 55(0,1958) \\ \Delta\theta_b &= 10,77^\circ\text{C}\end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan di atas maka didapatkan hasil kenaikan temperatur top oil adalah sebesar $10,77^\circ\text{C}$.

4.3.3. Kenaikan Temperatur Hot Spot Beban Stabil

Untuk kenaikan temperatur hot spot beban stabil dapat diketahui :

$\Delta\theta_b = 10,77$ (Kenaikan temperatur top oil)

$\Delta\theta_{cr} = 78^\circ\text{C}$ (konstanta)

$\Delta\theta_{br} = 55$ (kenaikan suhu belitan, $\Delta\theta_{br} = 55^\circ\text{C}$ untuk ON dan $\Delta\theta_{br} = 40^\circ\text{C}$ untuk OF)

y adalah konstanta

y = 0,8 (untuk metode pendinginan ONAN ONAF)

y = 0,9 (untuk metode pendinginan OFAF dan OFWF)

maka,

$$\begin{aligned}\Delta\theta_c &= \Delta\theta_b + (\Delta\theta_{cr} - \Delta\theta_{br})k^{2y} \\ \Delta\theta_c &= 10,77 + (78 - 55) 0,1732^{2 \cdot 0,8} \\ \Delta\theta_c &= 10,77 + 23,0,1732^{1,6} \\ \Delta\theta_c &= 10,77 + 1,4 \\ \Delta\theta_c &= 12,17^\circ\text{C}\end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan di atas maka didapatkan hasil kenaikan temperatur hot spot beban stabil adalah sebesar $12,17^\circ\text{C}$.

4.3.4. Perhitungan Laju Penuaan Thermal Relatif Beban Stabil

Untuk menentukan laju penuaan thermal relatif dengan diketahui bahwa $\theta_{cr} = 98^\circ\text{C}$,

maka:

$$\begin{aligned}V &= \frac{\text{laju penuaan umur saat } \theta_c}{\text{laju penuaan umur saat } \theta_{cr}} \\ V &= 10^{(\theta_c - 98)/19,93} \\ V &= 10^{(12,17 - 98)/19,93} \\ V &= 10^{(-85,83)/19,93} \\ V &= 10^{-4,3} \\ V &= 0,00005 = 5,01 \times 10^{-5}\end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan di atas maka didapatkan laju penuaan thermal relatif adalah sebesar $5,01 \times 10^{-5}$.

4.3.5. Perhitungan Susut Umur pada Beban Stabil

Untuk menghitung susut umur transformator pada daya 60 MVA karena pengaruh penurunan isolasi belitan saja tanpa memperhitungkan pengaruh yang lain dalam keadaan pembebanan tidak stabil, dapat diketahui bahwa :

h = konstanta = 1

T = waktu (24jam)

Vodd, Veven = Laju penuaan thermal relatif.

Vodd untuk nilai V ganjil, Veven untuk nilai V genap.

Nilai V adalah sebesar 0,00005.

$$\begin{aligned}L &= \frac{h}{3T} \{Vo + \Sigma 4Vodd + \Sigma 2Veven\} \\ L &= \frac{h}{3 \cdot 24} \{0,00005 + 4(12 \cdot 0,00005) + 2(12 \cdot 0,00005)\} \\ L &= \frac{1}{72} \{0,00005 + 4(0,0006) + 2(0,0006)\} \\ L &= \frac{1}{72} \{0,00005 + 0,0024 + 0,0012\} \\ L &= \frac{1}{72} \{0,0036\} \\ L &= 0,00005 \text{ p.u}\end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan di atas maka didapatkan susut umur transformator adalah sebesar 0,00005 p.u

4.3.6. Prakiraan Umur Transformator Daya

Untuk menentukan prakiraan umur transformator daya dengan beban yang stabil dapat dihitung dengan diketahui bahwa umur dasar = 20,55 (Menurut IEEE 2009) tahun dan lama transformator sudah dipakai sesuai tabel data dari tahun 2013 sampai 2019, maka lama transformator sudah dipakai yaitu 6 tahun,

maka:

$$n = \frac{\text{umur dasar (tahun)} - \text{lama transformator sudah dipakai (tahun)}}{\text{susut umur transformator (p.u)}}$$

$$n = \frac{20,55 - 6}{0,00005}$$

$$n = \frac{14,55}{0,00005}$$

$$n \geq 291000 \text{ tahun}$$

Karena rata-rata pemakaian / pembebanan transformator tidak sampai 100 % hanya 17,32%, maka umur transformator dapat lebih panjang dibandingkan umur dasarnya. Umur dasar adalah patokan umur transformator jika dipakai terus menerus selama 24 jam dengan rata-rata pembebanan sebesar 100 %. Adapun untuk nilai dari umur dasar selama 20,55 tahun menggunakan standart IEEE tahun 1999.

Hasil prakiraan umur transformator diatas hanya berasal dari pengaruh penurunan kemampuan isolasi akibat pemanasan dari pembebanan dan jenis pendingin yang digunakan, belum memperhitungkan pengaruh lain yang dapat mengakibatkan penambahan laju penyusutan umur transformator daya.

4.3.7. Kenaikan Temperatur Top Oil Beban Tidak Stabil

Untuk menentukan kenaikan temperatur top oil beban berubah dapat diketahui bahwa :

τ = konstanta waktu minyak dalam jam.

$\tau = 3$ (untuk metode pendinginan ONAN dan ONAF)

$\tau = 2$ (untuk metode pendinginan OFAF dan OFWF)

$t = 1$ (waktu dalam jam)

maka,

$$\Delta\theta_{on} = \Delta\theta_o (n-1) + (\Delta\theta_b - \Delta\theta_o)(n-1)(1 - e^{-t/\tau})$$

$$\Delta\theta_{on} = 50 + (10,77 - 50)(1 - e^{-1/3})$$

$$\Delta\theta_{on} = 50 + (-39,23)(0,283)$$

$$\Delta\theta_{on} = 50 + (-1,1)$$

$$\Delta\theta_{on} = 38,9^\circ\text{C}$$

Dari hasil perhitungan di atas maka didapatkan kenaikan temperatur top oil beban tidak stabil adalah sebesar 38,9°C.

4.3.8. Selisih Temperatur Hot Spot dengan Top Oil

Untuk menentukan selisih temperatur hot spot dengan top oil dapat diketahui sebagai berikut :

$$\Delta\theta_{td} = (\Delta\theta_{cr} - \Delta\theta_{br})k^{2y}$$

$$\Delta\theta_{td} = (78 - 55)0,1732^{2 \cdot 0,8}$$

$$\Delta\theta_{td} = 23,0,06$$

$$\Delta\theta_{td} = 1,38^\circ\text{C}$$

Dari hasil perhitungan di atas maka didapatkan selisih temperatur hot spot dengan top oil adalah sebesar 1,38°C.

4.3.9. Kenaikan Temperatur Hot Spot Beban Tidak Stabil

Untuk menentukan kenaikan temperatur hot spot beban tidak stabil dengan θ_a adalah temperatur sekitar yaitu 32°C, maka:

$$\theta_c = \theta_a + \Delta\theta_{on} + \Delta\theta_{td}$$

$$\theta_c = 32 + 38,9 + 1,38$$

$$\theta_c = 72,28^\circ\text{C}$$

Dari hasil perhitungan di atas maka didapatkan kenaikan temperatur hot spot beban tidak stabil adalah sebesar 72,28°C.

4.3.10. Perhitungan Laju Penuaan Thermal Relatif Beban Tidak Stabil

Untuk menentukan perhitungan laju penuaan thermal relatif beban tidak stabil dapat diketahui sebagai berikut :

$$V = \frac{\text{laju penuaan umur saat } \theta_c}{\text{laju penuaan umur saat } \theta_{cr}}$$

$$V = 10^{(\theta_c - 98)/19,93}$$

$$V = 10^{(72,28 - 98)/19,93}$$

$$V = 10^{(-25,72)/19,93}$$

$$V = 10^{-1,3}$$

$$V = 0,05$$

Dari hasil perhitungan di atas maka didapatkan perhitungan laju penuaan thermal relatif beban tidak stabil adalah sebesar 0,05.

4.3.11. Perhitungan Susut Umur pada Beban Tidak Stabil

Untuk menentukan perhitungan susut umur pada beban tidak stabil dapat diketahui bahwa $V_o = 0,05$, maka:

$$L = \frac{h}{3T} \{Vo + \Sigma 4V_{odd} + \Sigma 2V_{even}\}$$

$$L = \frac{h}{3.24} \{0,05 + 4(12.0,05) + 2(12.0,05)\}$$

$$L = \frac{1}{72} \{0,05 + 4(0,6) + 2(0,6)\}$$

$$L = \frac{1}{72} \{0,05 + 2,4 + 1,2\}$$

$$L = \frac{1}{72} \{3,65\}$$

$$L = 0,0507p.u$$

Dari hasil perhitungan di atas maka didapatkan perhitungan susut umur pada beban tidak stabil adalah sebesar 0,0507p.u.

4.3.12. Prakiraan Umur Transformator Daya

Untuk menentukan prakiraan umur transformator daya dengan beban yang stabil dapat diketahui bahwa umur dasar = 20,55 tahun dan lama transformator sudah dipakai sesuai tabel data dari tahun 2013 sampai 2019, maka lama transformator sudah dipakai yaitu 6 tahun, maka:

$$n = \frac{\text{umur dasar} - \text{lama transformator sudah dipakai}}{\text{susut umur transformator (p.u)}}$$

$$n = \frac{20,55 - 6}{0,0507}$$

$$n = \frac{14,55}{0,0507}$$

$$n \geq 286,98 \text{ tahun}$$

Karena rata-rata pemakaian / pembebanan transformator tidak sampai 100 % hanya 17,32%, maka umur transformator dapat lebih panjang dibandingkan umur dasarnya. Umur dasar adalah patokan umur transformator jika dipakai terus menerus selama 24 jam dengan rata-rata pembebanan sebesar 100 %. Adapun untuk nilai dari umur dasar selama 20,55 tahun menggunakan standart IEEE tahun 1999.

Hasil prakiraan umur transformator diatas hanya berasal dari pengaruh penurunan kemampuan isolasi akibat pemanasan dari pembebanan dan jenis pendingin yang digunakan, belum memperhitungkan pengaruh lain yang dapat mengakibatkan penambahan laju penyusutan umur transformator daya.

4.4. Data Pembanding

Adapun untuk pembanding dari susut umur transformator berdasarkan data real di lapangan, digunakan data pembebanan sebesar 110%, 100% dan 90% dan 80%.

4.4.1. Pembebanan 110%

Ratio Pembebanan (K = 1,1)	Beban Stabil	Beban Tidak Stabil
Kenaikan Temperatur Top Oil (°C)	63,8	53,9
Selisih Temperatur Hot Spot dengan Top Oil (°C)	-	26,772
Kenaikan Temperatur Hot Spot (°C)	90,58	112,772
Perhitungan Laju Penuaan Thermal Relatif	0,42	5,445
Perhitungan Susut Umur(p.u)	0,4258	5,52
Prakiraan Umur Transformator Daya(Tahun)	34,17	2,6358

4.4.2. Pembebanan 100%

Ratio Pembebanan (K = 1)	Beban Stabil	Beban Tidak Stabil
Kenaikan Temperatur Top Oil (°C)	55	51,415
Selisih Temperatur Hot Spot dengan Top Oil (°C)	-	23
Kenaikan Temperatur Hot Spot (°C)	78	106,415
Perhitungan Laju Penuaan Thermal Relatif	0,00993	2,642
Perhitungan Susut Umur(p.u)	0,1006	2,678
Prakiraan Umur Transformator Daya(Tahun)	144,63	5,43

4.4.3. Pembebanan 90%

Ratio Pembebanan (K = 0,9)	Beban Stabil	Beban Tidak Stabil
Kenaikan Temperatur Top Oil (°C)	46,2	48,9246
Selisih Temperatur Hot Spot dengan Top Oil (°C)	-	19,412
Kenaikan Temperatur Hot Spot (°C)	74,43	100,3366
Perhitungan Laju Penuaan Thermal Relatif	0,0657	1,3097
Perhitungan Susut Umur(p.u)	0,0666	1,3278
Prakiraan Umur Transformator Daya(Tahun)	218,46	10,95

4.4.4. Pembebanan 80%

Ratio Pembebanan (K = 0,9)	Beban Stabil	Beban Tidak Stabil
Kenaikan Temperatur Top Oil (°C)	39,358	46,989
Selisih Temperatur Hot Spot dengan Top Oil (°C)	-	16,1
Kenaikan Temperatur Hot Spot (°C)	71,09	95,089
Perhitungan Laju Penuaan Thermal Relatif	0,0446	0,7144
Perhitungan Susut Umur(p.u)	0,0452	0,7243
Prakiraan Umur Transformator Daya(Tahun)	321,9	20,8

4.5. Analisis Hasil

Berikut tabel hasil perhitungan persentase pembebanan 110%, 100%, 90%, 80%, dan data real lapangan 17,32%.

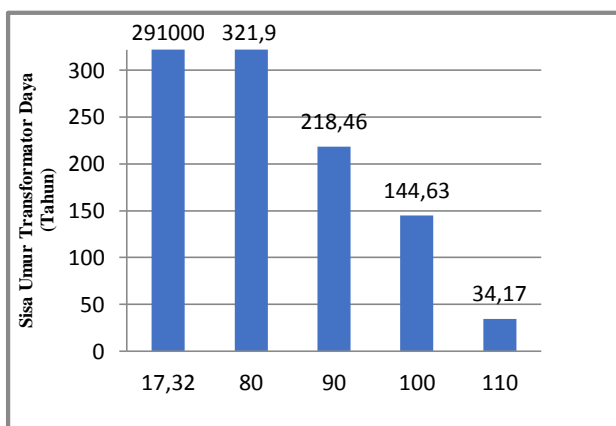
Tabel 3. Perhitungan Variasi Pembebanan Dengan Beban Stabil

No.	Persentase Pembebanan (%)	K	V	L	Sisa Umur (tahun)
1	17,32	0,1732	0,00005	0,00005	291000
2	80	0,8	0,0446	0,0452	321,9
3	90	0,9	0,0657	0,0666	218,46
4	100	1	0,0993	0,1006	144,63
5	110	1,1	0,42	0,4258	34,17

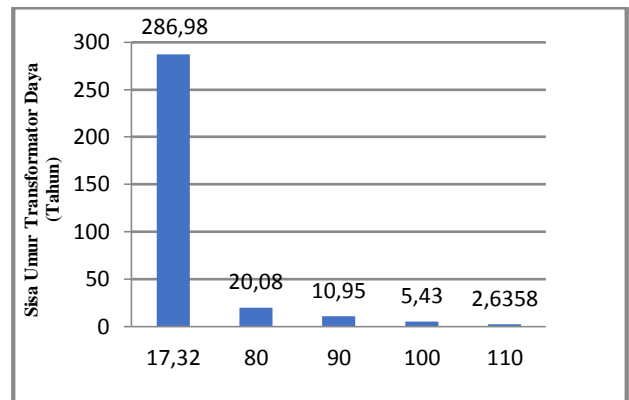
Tabel 4. Perhitungan Variasi Pembebanan Dengan Beban Stabil

No.	Persentase Pembebanan (%)	K	V	L	Sisa Umur (tahun)
1	17,32	0,1732	0,05	0,0507	286,98
2	80	0,8	0,7144	0,7243	20,08
3	90	0,9	1,3097	1,3278	10,95
4	100	1	2,642	2,678	5,43
5	110	1,1	5,445	5,52	2,6358

Jika diubah dalam bentuk grafik, maka diperoleh hasil sebagai berikut:



Gambar 2. Grafik Perhitungan Variasi Pembebanan Beban Stabil



Gambar 3. Grafik Perhitungan Variasi Pembebanan Beban Tidak Stabil

5. Penutup

5.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian, analisis teknis dan analisis ekonomis STUDI ANALISIS KUALITAS TRANSFORMATOR DAYA GARDU INDUK 150 KV SIANTAN diperoleh beberapa kesimpulan yaitu :

1. Susut umur transformator dipengaruhi oleh isolasi belitan dan minyak transformator yang diakibatkan oleh pembebanan transformator dan juga suhu lingkungan sekitar.
2. Berdasarkan penjelasan hasil analisis didapatkan bahwa transformator daya khusus nyatra transformator daya pada Trafo Daya 150 KV Siantan adalah dalam kondisi layak pakai dengan sisa umur yang sebesar $\geq 286,98$ tahun pada beban tidak stabil dengan rata-rata pembebanan 17,32 %. Sisa umur yang lama (sekitar 286,98 tahun) adalah akibat trafo daya dengan beban nominal 60 MVA tetapi dibebani hanya sekitar 9,768 MW (sekitar 17,32 %).
3. Pada pembebanan stabil, semakin tinggi persentase pembebanan maka sisa umur akan semakin menurun yaitu untuk pembebanan 17,32 % sisa umur 291000 tahun ; untuk pembebanan 80 % sisa umur 321,9 tahun ; untuk pembebanan 90 % sisa umur 218 tahun ; untuk pembebanan 100 % sisa umur 144,63 tahun dan persentase pembebanan 110 % sisa umur 34,17 tahun.
4. Pada pembebanan tidak stabil, semakin tinggi persentase pembebanan maka sisa umur akan semakin menurun yaitu untuk pembebanan 17,32 % sisa umur 286,98

tahun ; untuk pembebanan 80 % sisa umur 20,08 tahun ; untuk pembebanan 90 % sisa umur 10,95 tahun ; untuk pembebanan 100 % sisa umur 5,43 tahun dan persentase pembebanan 110 % sisa umur 2,63 tahun.

5. Menurut Standart IEEE tahun 1999, rata-rata umur transformator daya normal adalah 20,55 tahun, jadi jika Trafo Daya 150 KV Siantan dioperasikan dengan persentase pembebanan 80 % (sisa umur 20,08 tahun). Trafo Daya 150 KV dioperasikan tahun 2013 (sudah beroperasi 6 tahun), maka umur Trafo Daya 150 KV Siantan diperkirakan 26,08 tahun (di atas rata-rata umur trafo daya normal) sehingga disimpulkan Trafo Daya 150 KV Siantan kualitasnya baik.

5.2. Saran

Dari analisa dan pembahasan serta kesimpulan yang diperoleh dalam penelitian ini, saran yang dapat dikemukakan sebagai berikut :

1. Penelitian tentang umur pakai dan kualitas transformator daya sebaiknya dengan memperhitungkan pengaruh gangguan yang dialami dan metode pemeliharaan transformator daya tersebut.
2. Penelitian tentang umur pakai dan kualitas transformator daya selanjutnya lebih memilih trafo daya dengan persentase pembebanan yang besa (sekitar 80 % atau selebihnya) atau dengan produksi, minyak isolasi, tipe pendinginan yang berbeda.

Daftar Pustaka

- [1] IEEE *Recommended Practice For Performing Temperature Rise Test on Oil-Immersed Power Transformers at Load Beyond Nameplate Ratings*, Institute of Electrical and Electronic Engineers, New York NY, 2002.
- [2] IEEE *Guide for Protective Relay Applications to Power Transformers*, IEEE

Standard C57.91, Institute of Electrical and Electronic Engineers, New York NY, 2000.

- [3] IEC, *Loading Guide For Oil Immersed Transformer*, IEC Publication, 1972.
- [4] Sigid, Purnama, 2009. *Analisa Pengaruh Pembebanan Terhadap Susut Umur Transformator Tenaga*, Semarang. (http://www.elektro.undip.ac.id/el_n_kpta/wpcontent/uploads/2012/05/12f306046_MTA.pdf).
- [5] *Term Of Reference (TOR) Transformator 30 MVA 150/6,3 KV For GI.PT. Semen Padang*, Departement Perencanaan Teknik Pabrik Biro Tenaga & Bengkel, Padang, 2010.
- [6] Adhie Satrya Gianto, Chairul Gagarin Irianto dan Darto Gianto, 2015, " *Perhitungan Penurunan Umur Transformator Akibat Pengaruh Suhu Lingkungan* ", Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Trisakti, Jakarta.
- [7] Parlindungan Gultom, 2017 " *Studi Susut Umur Transformator Distribusi 20 KV Akibat Pembebanan Lebih di PT. PLN (Persero) Kota Pontianak* ", Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik, Universitas Tanjungpura, Pontianak.
- [8] Tobing, B.L., *Peralatan Tegangan Tinggi*, Jakarta : PT. Gramedia Pustaka Utama, 2003.

Biography



Priyo Utomo, Lahir di Semarang 12 Januari 1966. Menempuh Pendidikan Strata I (S1) Di Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura sejak tahun 2013. Penelitian ini diajukan sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Konsentrasi Teknik Tenaga Listrik di Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura.

ABSTRACT

The aging of the transformer is affected by the insulation temperature of the transformer winding, the temperature of the transformer oil and the ambient temperature. By calculating the percentage of loading and determining the increase in temperature for loading stable and unstable power transformers using the thermal diagram method (IEC 354) and calculating the aging of the insulation transformer power using the dethenation law by Arrhenius and calculating the relative thermal rate, aging and estimated remaining life using a formula Montsinger obtained the following research results.

In stable loading, the higher the percentage of loading, the remaining age will decrease which is to load 17.32% the remaining age of 291000 years; for loading 80% remaining 321.9 years; for loading 90% remaining 218 years; for the remaining 100% loading age of 144.63 years and the percentage of loading 110% remaining 34.17 years.

In unstable loading, the higher the percentage of loading, the remaining age will decrease which is to load 17.32% the remaining age of 286.98 years; for loading 80% of the remaining age of 20.08 years; for loading 90% of the remaining age of 10.95 years; for the remaining 100% loading age of 5.43 years and the percentage of loading 110% remaining 2.63 years.

According to the 1999 IEEE Standard, the average lifespan of a normal power transformer is 20.55 years, so if the Power Transformer 150 KV Siantan is operated with a percentage of 80% load (the remaining age is 20.08 years). Power transformer 150 KV is operated in 2013 (has been operating for 6 years), then the age of Power Transformer 150 KV Siantan is estimated at 26.08 years (above the average age of a normal power transformer) so it is concluded Power Transformer 150 KV Siantan is of good quality.

Keywords: *Power Transformer, Stable Load, Unstable Load, Age Shrinkage, Wear Life, Quality of Formator.*

HALAMAN PENGESAHAN

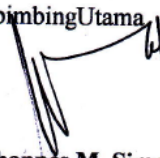
**STUDI ANALISIS KUALITAS TRANSFORMATOR DAYA GARDU
INDUK 150 KV SIANTAN**

PRIYO UTOMO
D1022131006

Pontianak, 5 April 2019

Menyetujui

Pembimbing Utama


Ir. Yohannes M. Simanjuntak, MT
NIP. 195601301982031002

Pembimbing Pembantu


Managam Rajagukguk, ST, MT
NIP. 197211162000031001